

## ГОРНАЯ ИНФОРМАТИКА

УДК 622.2: 004.9

**ЦИФРОВЫЕ ГОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:  
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
СИСТЕМ MINEFRAME****С. В. Лукичев, О. В. Наговицын**

*Горный институт КНЦ РАН,  
E-mail: s.lukichev@ksc.ru, o.nagovitsyn@ksc.ru,  
ул. Ферсмана, 24, 184209, г. Апатиты, Россия*

Рассмотрена актуальная проблема цифровой трансформации горного производства по импортозамещению и созданию безбарьерной технологии работы с цифровыми данными и моделями объектов горной технологии для решения комплекса геологических, маркшейдерских и технологических задач. Важным элементом создания безбарьерной технологии является формирование единого виртуального цифрового пространства, решающего проблему конвертирования данных, возникающую при одновременном использовании в цифровой технологии программных продуктов, построенных на разных объектных моделях. Реализовать такую технологию можно путем формирования цифровой платформы, содержащей базовый функционал для работы с моделями объектов в виртуальном пространстве и API-функции для интеграции создаваемых инструментов в это цифровое виртуальное пространство. В наибольшей степени требованиям цифровой платформы удовлетворяют программные продукты класса горно-геологических информационных систем, в цифровом пространстве которых создаются 3D-модели и решаются базовые горно-геологические задачи. Сформулированы основные требования к функциональности данной цифровой платформы и описано текущее состояние работ по ее организации на базе горно-геологической информационной системы (ГГИС) MINEFRAME, которые осуществляются силами Горного института КНЦ РАН и ООО «Лаборатория МАЙНФРЭЙМ».

*Цифровые горные технологии, цифровая трансформация, горно-геологическая информационная система, 3D-модели, цифровая платформа, рабочее место, импортозамещение, технологический стек, функционал*

DOI: 10.15372/FTPRPI20240414

EDN: ZCKBNE

Одним из основных драйверов повышения эффективности и безопасности горного производства является его цифровая трансформация, конечная цель которой — создание цифрового двойника горнодобывающего предприятия как способа получения on-line информации об объектах горной технологии и моделирования их поведения. Во многом это связано с тем, что горнодобывающие предприятия работают в ситуации значительной неопределенности, связанной с вероятностной оценкой запасов полезного ископаемого, устойчивости массива, влияния

на технологические процессы климатических и погодных условий, а также рыночного спроса на минеральное сырье. В этих условиях использование цифровых методов прогноза, планирования и управления позволяет серьезно снизить уровень неопределенности и повысить экономические показатели работы предприятия.

Можно выделить несколько этапов процесса цифровой трансформации горного производства (от уже пройденных до предстоящих), суть которых сводится к постепенному переходу от использования не связанных между собой компьютерных программ, решающих отдельные задачи горного производства, к программно-техническим комплексам, формирующим цифровую технологию инженерного обеспечения и управления горными работами [1].

Цифровая трансформация идет по нескольким направлениям, которые связаны с автоматизацией: управления материальными и финансовыми активами (ERP, EAM-системы) [2]; управления производством (MES-системы). Если говорить об управлении горным производством, связанным с добычей твердых полезных ископаемых, то цифровые технологии активно используются при решении следующих задач:

- геологическое обеспечение горных работ [3];
- маркшейдерское обеспечение горных работ [4];
- проектирование и планирование горных работ [5 – 7];
- техническое обслуживание и ремонт оборудования [8];
- дистанционное управление стационарным и подвижным оборудованием [9];
- диспетчеризация транспорта и контроль персонала [10 – 11];
- контроль состояния атмосферы [12];
- мониторинг состояния массива горных пород и обеспечение геомеханической безопасности горных работ [13].

Важный результат цифровой трансформации — формирование единого цифрового пространства для решения всего комплекса задач и, как следствие, создание безбарьерной технологии работы с цифровыми данными и моделями объектов. Это означает решение задач горной технологии без изменения структуры цифровых моделей, а значит, без затрат времени на переход из одного формата в другой и риска потери данных.

Реализовать такую схему работы можно с помощью цифровой платформы, содержащей базовый функционал для работы с моделями объектов в виртуальном пространстве и API-функции для интеграции создаваемых инструментов в это цифровое виртуальное пространство. В настоящее время такие платформы применительно к горнодобывающей промышленности отсутствуют не только в России, но и в мире.

В наибольшей степени требованиям цифровой платформы удовлетворяют программные продукты (ПП) класса горно-геологических информационных систем (ГГИС), в цифровом пространстве которых создаются 3D-модели и решаются базовые горно-геологические задачи. Таким образом, ГГИС можно считать системообразующими для MES-систем горного предприятия и наиболее подходящими на роль превращения в цифровую платформу.

Если рассмотреть российский рынок ГГИС, то 90 – 95 % объема продаж до недавнего времени приходилось на импортные ПП, при этом практически все крупные предприятия строили на этих ПП свои цифровые системы управления производством. Введение санкций и уход зарубежных ПП с российского рынка особенно сильно ударил по тем предприятиям, которые уже вложили сотни миллионов рублей в создание цифровой технологии, построенной на зарубежных решениях.

Следует отметить, что цифровая технология управления горными работами становится важным фактором повышения эффективности и безопасности горного производства, поэтому для обеспечения конкурентоспособности предприятий импортные ПП должны быстро заме-

щаться на отечественные. Одновременно это окно возможностей для отечественных разработчиков горного программного обеспечения (ПО), которые при отсутствии должного финансирования со стороны отечественных предприятий, долгое время не могли на равных конкурировать с зарубежными ИТ-компаниями. Такая ситуация привела к тому, что, во-первых, российских разработчиков ГГИС буквально считанные единицы, а во-вторых, их функционал по ряду позиций пока отстает от импортных ГГИС. В основном это инструменты геостатистики и неявного геологического моделирования, а также инструменты планирования горных работ.

Решать проблему создания конкурентоспособной ГГИС путем постепенного наращивания отсутствующего функционала в рамках существующей архитектуры — это быть в роли постоянно догоняющего. Необходимо решение, которое позволит ускорить этот процесс. Таким решением, на наш взгляд, является создание цифровой платформы, обеспечивающей сетевое (с участием сторонних разработчиков ПО) формирование цифровых инструментов решения задач горной технологии. С учетом этого развитие ГГИС MINEFRAME идет по пути создания цифровой платформы, где сторонним разработчикам будет предоставлена возможность интеграции своих инструментов в ее цифровую среду.

Работы по созданию ГГИС MINEFRAME стартовали в 1997 г. Первоначально это был научный проект, который выполнялся силами Горного института Кольского научного центра (ГоИ КНЦ) РАН. По мере развития функционала и превращения его в коммерческий продукт возникла необходимость создания малого инновационного предприятия (ООО “Лаборатория МАЙНФРЭЙМ”), задачей которого стал перевод процесса разработки, продвижения и технической поддержки на профессиональный уровень работы ИТ-компаний. В настоящее время развитие MINEFRAME идет в тесном контакте с ГоИ КНЦ РАН, где ГГИС выступает в роли полигона для отработки цифровых решений по широкому спектру задач в области геологии, геомеханики и горной технологии.

#### ГГИС MINEFRAME — ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

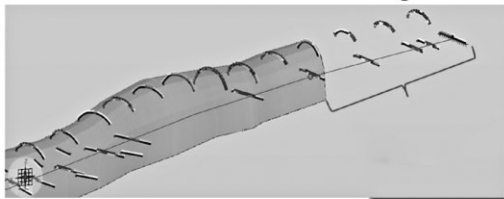
MINEFRAME — полнофункциональная ГГИС, предназначенная для комплексного решения геологических, маркшейдерских и технологических задач в едином цифровом пространстве. Решение этих задач осуществляется с использованием трехмерных моделей объектов горной технологии, а результаты решения представляются в виде вновь созданных или модифицированных моделей либо в виде табличной и графической информации с возможностью вывода на печать. Унифицированная модель объекта позволяет в связанном виде хранить векторные, каркасные и блочные данные, что обеспечивает возможность создания моделей любой степени сложности при сохранении целостности данных. Сама структура модели адаптирована к методам работы с горно-геологическими объектами, а разделение на структурно связанные элементы позволяет перейти на темпоральный [14] способ хранения данных, что обеспечит за счет учета времени изменения данных и структурных связей между ними существенное снижение размеров базы данных (БД), сохраняя в ней только измененные части модели.

Из набора инструментов ГГИС MINEFRAME формируются рабочие места геолога, маркшейдера, технолога (открытые и подземные горные работы). Для обеспечения сохранности данных каждому специалисту устанавливается уровень доступа на выполнение различных операций. Кроме этого, ведется каталог измененных моделей объектов, что позволяет в случае необходимости их восстанавливать.

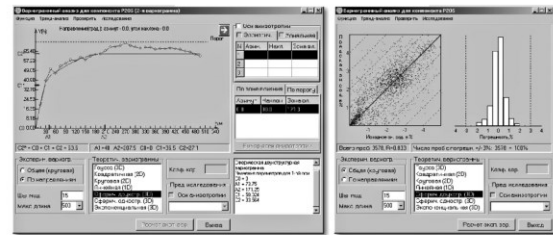
**Рабочее место Геолога** обеспечивает формирование БД геохимического опробования и создание модели геологической среды (рис. 1). Для выполнения этой работы используется *Редактор геологической БД*, который является web-приложением и содержит инструменты: ручного

ввода данных опробования, их импорта и экспорта; проверки корректности данных и их статистического анализа; графического отображения данных опробования, включая их литолого-стратиграфическое представление. Визуализация данных опробования осуществляется в среде *Графического редактора*, где формируются каркасные модели рудных тел/пластов и геологических нарушений, проводятся геостатистические исследования данных опробования и на основе их интерполяции создаются блочные модели геологических тел, выполняется оценка запасов полезного ископаемого по месторождению и выемочным единицам. Реализован механизм ввода данных бороздового опробования с использованием моделей выработок.

Формирование БД опробования  
с использованием моделей выработок



Геостатистический анализ



Моделирование рудных тел, пластов, литотипов

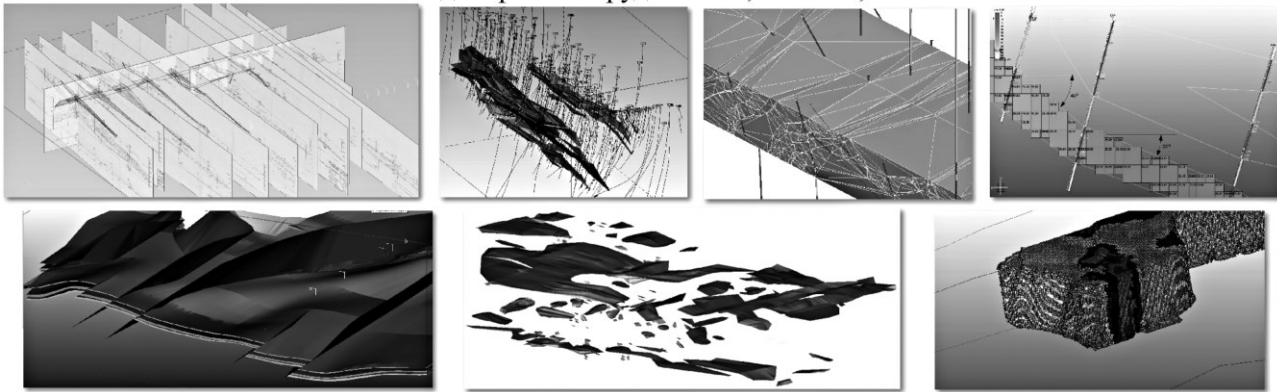


Рис. 1. Инструменты решения геологических задач

**Рабочее место Маркшейдера** реализовано в среде *Графического редактора* и содержит набор инструментов (рис. 2) для: работы с БД точек съемочного обоснования и расчета координат новых точек классическими методами; импорта данных с цифровых тахеометров и сканеров; построения каркасных моделей по облаку точек; расчета объемов выемок и насыпей; построения профилей выработок и дорог; моделирования и документирования процессов проходки и закладки выработок; корректировки моделей открытых и подземных выработок по данным маркшейдерской съемки.

**Рабочее место технолога** реализовано в среде *Графического редактора*. Для решения технологических задач имеется БД оборудования и расходных материалов, а также средства ее пополнения. Рабочее место содержит инструменты планирования и проектирования, а также средства подготовки технологической документации, которые используются при решении следующих задач: (для открытых горных работ, рис. 3) расчет и моделирование конечных и этапных положений карьера; расчет потерь и разубоживания ПИ с учетом направления развития горных работ; автоматизированное формирование съездов и других конструктивных элементов карьера/разреза/отвала; моделирование выемочных единиц; проектирование буровзрывных работ; расстановка экскаваторов и моделирование качества ПИ в забое; расчет транспортных затрат с учетом профиля дорог: (для подземных горных работ, рис. 4) параметрическое проектирование выработок

и конструктивных элементов системы разработки; автоматический расчет траекторий выработок с учетом параметров уклонов и сопряжений; моделирование выемочных единиц; проектирование буровзрывных работ; имитационное моделирование проходки выработок и отработки выемочных единиц; календарное планирование и технико-экономическая оценка проходки выработок; проектирование и планирование закладочных работ.



Рис. 2. Инструменты решения маркшейдерских задач

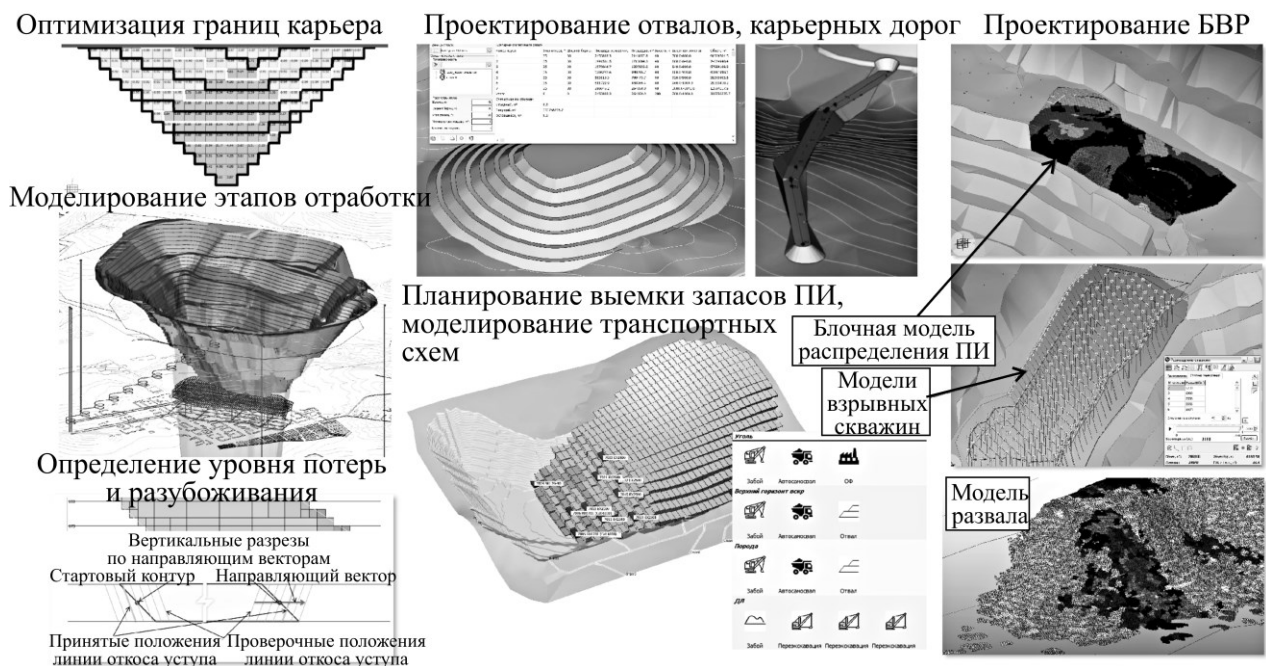


Рис. 3. Инструменты проектирования и планирования открытых горных работ

В целом ГГИС MINEFRAME содержит свыше 300 цифровых инструментов, которые решают большинство базовых задач, встречающихся в практике работы горнодобывающих предприятий. Большая часть этих инструментов не хуже импортных аналогов, но ряд инструментов в MINEFRAME или отсутствует, или не так функционально развит, как у зарубежных конкурентов. В основном это инструменты, связанные с автоматизацией построения сложных поверхностей по ограниченному набору данных и решением оптимизационных задач.



Рис. 4. Инструменты проектирования и планирования подземных горных работ

#### ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА MINEFRAME

Необходимость быстрого перехода от импортных ПП к отечественным инициируют в первую очередь горнодобывающие предприятия, продвинутое в области цифровой трансформации. Как правило, это крупные компании, строившие свои цифровые системы управления горными работами на импортных ПП. Для них отсутствие технической поддержки и обновления ПО со стороны разработчика означает снижение эффективности горного производства и его конкурентоспособности.

При этом отечественные разработчики горного ПО, к которым относится и команда MINEFRAME, попали в ситуацию, когда в очень короткие сроки (2–3 года) необходимо создать ПП мирового уровня функциональности и стабильности работы. Достаточно сложно представить, как такую задачу можно решить практически с нуля. Что же касается MINEFRAME (работа по развитию его функционала идет уже 27 лет), то его превращение в цифровую платформу (ЦП), удовлетворяющую по функциональности, безопасности и стабильности требованиям современных горнодобывающих предприятий и проектных организаций, идет по следующим направлениям, формирующим новый технологический стек:

Архитектура — графическое ядро с динамически подгружаемыми рабочими инструментами, для создания которых используется библиотека API-функций.

Кроссплатформенность — переход с графической платформы DirectX на Vulkan, что обеспечивает работу с операционными системами (ОС) Windows, Linux, Mac OS, Android и iOS.

Базы данных — переход на СУБД PostgreSQL и реализация обмена данными по протоколу ODBC, что расширяет возможности адаптации ПО к различным ОС и БД.

Модель объекта — присвоение структурным элементам моделей уникальных идентификаторов, что позволит сохранять в БД только измененные части моделей. Это сможет реализовать механизм одновременного редактирования несколькими специалистами одной модели.

Облачные сервисы — перенос ресурсоемких вычислений на облачные сервисы, доступ к которым осуществляется через интернет.

Искусственный интеллект — ускорение работы по поиску информации и переход на элементы голосового управления и генеративного проектирования при решении задач горного производства.

Переход на новый технологический стек требует серьезной переработки ПО, особенно его архитектурных решений, направленных на повышение модульности, возможности адаптации к различным условиям эксплуатации, повышения защищенности данных и скорости их обработки. Необходимость быстрого создания конкурентоспособного ПП диктует необходимость серьезного расширения команды разработчиков, что одновременно требует совершенствования организационных форм управления процессом разработки, взаимодействия с заказчиками/пользователями, технической поддержки и маркетинга.

#### **ВЫВОД**

История развития горно-геологической информационной системы MINEFRAME тесно связана с эволюцией горного программного обеспечения и показывает возможность трансформации научного проекта в коммерческий продукт. При этом 27-летний опыт разработки отечественной ГГИС, а также понимание объема и сложности связанной с этим работы диктует необходимость поиска решений, направленных на системную интеграцию инструментов сторонних разработчиков в цифровую технологию инженерного обеспечения горных работ. Решение этой задачи видится в создании горной цифровой платформы, где за счет упрощения процесса создания рабочих инструментов и их интеграции в единое цифровое пространство появится возможность ускоренного развития рабочего функционала и решения задачи импортозамещения в классе ГГИС.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Лукичев С. В., Наговицын О. В. Цифровая трансформация и технологическая независимость горнодобывающей отрасли // Горн. пром-сть. — 2022. — (5). — Р. 74–78.
2. Кортенко Л. В. Информационные системы управления оперативной производственной безопасностью горных предприятий // Вестн. Омского ун-та. Серия “Экономика”. — 2021. — Т. 19. — № 2. — С. 48–55.
3. Капутин Ю. Е., Ежов А. И., Хенли С. Геостатистика в горно-геологической практике. — Апатиты: КНЦ РАН, 1995. — 191 с.
4. Корниенко А. В., Шишкин А. С. Автоматизация маркшейдерского обеспечения горных работ в ГГИС MINEFRAME // Тр. Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. — 2017. — № 14. — С. 303–305.
5. Исмагилов Р. И., Гриник А. В., Догадин А. И., Мельников В. М., Лебедев А. Г., Шмонов А. М., Герасимов А. В., Кабелко С. Г., Невлютов Т. Н. Цифровой карьер: использование горно-геологической информационной системы при планировании горных работ // Горн. пром-сть. — 2022. — № 3. — С. 52–60.

6. Лаптев В. В., Гурин К. П. Учет технологических и горно-геологических ограничений и при автоматизированном планировании подземных горных работ // ФТПРПИ. — 2023. — № 3. — С. 159–166.
7. Наговицын Г. О. Краткосрочное планирование открытых горных работ в горно-геологической информационной системе MINEFRAME // Горн. пром-сть. — 2023. — № 5S. — С. 130–134.
8. Андреева Л. И. Методический подход к определению сроков эксплуатации и цены владения карьерными экскаваторами в условиях горнорудных карьеров // Горное оборудование и электромеханика. — 2023. — № 5 (169). — С. 61–67.
9. Басаргин А. А. Интеграция информационных и горнодобывающих технологий для развития интеллектуальных шахт // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2022. — Т. 1. — С. 93–98.
10. Воронов Ю. Е., Воронов А. Ю., Дубинкин Д. М., Максимова О. С. Диспетчеризация в карьерных экскаваторно-автомобильных комплексах с беспилотным транспортом // Уголь. — 2023. — № 9 (1171). — С. 75–83.
11. Маликов Ю. О., Васильев В. А. От “Талнаха” — к “Горизонту” // Горн. пром-сть. — 2021. — № 4. — С. 42–46.
12. Попов М. Д., Кормщиков Д. С., Семин М. А., Левин Л. Ю. Расчет устойчивости воздушных потоков в горных выработках по фактору тепловой депрессии в аналитическом комплексе “Аэросеть” // Безопасность труда в пром-сти. — 2020. — № 10. — С. 24–32.
13. Дмитриев С. В., Семенова И. Э., Шестов А. А. Развитие CAE-системы численного моделирования НДС SIGMA GT // Горн. пром-сть. — 2023. — № 5S. — Р. 135–141.
14. Наговицын О. В., Лукичев С. В. Темпоральный подход к моделированию объектов горной технологии // ФТПРПИ. — 2020. — № 6. — С. 186–192.

*Поступила в редакцию 15/V 2024*

*После доработки 25/VI 2024*

*Принята к публикации 27/VI 2024*